

بررسی تأثیر تغییر کاربری بر رواناب رودخانه ی مارون در ایستگاه ایدنک با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل SWAT

خسرو شفیعی مطلق^۱، جهانگیر پر همت^۲، حسین صدقی^{۳*} و مجید حسینی^۴

۱) دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۲) دانشیار؛ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری؛ تهران؛ ایران

۳) استاد؛ گروه علوم و مهندسی آب؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران؛ تهران؛ ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: sedghi@srbiau.ac.ir

۴) استادیار؛ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری؛ تهران؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۰۲

چکیده

مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز کشور یکی از مهمترین روش‌های استفاده از منابع آب و خاک می‌باشد. برای این مهم نیاز به اطلاعات جامعی از روش‌های متفاوت مدیریتی و اجرایی است. طی چند دهه اخیر برآورد درست و به موقع از وضعیت کمی و کیفی رواناب یکی از دغدغه‌های مدیریت‌های کلان کشور به حساب می‌آید. این پروژه شبیه‌سازی رواناب ماهانه، تحلیل حساسیت، بهینه‌سازی پارامترهای حساس، بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی در طی چهار دهه اخیر بر کمیت و کیفیت رودخانه مارون در ایستگاه خروجی حوزه آبخیز مارون (ایدنک) در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل SWAT می‌باشد. برای این مقصود از مدل نیمه توزیعی SWAT و برنامه‌ی SUFI2 و در قالب بسته نرم‌افزاری SWAT CUP برای تحلیل حساسیت، واسنجی، صحت‌سنجی و آنالیز عدم قطعیت بهره گرفته شد. در این تحقیق ابتدا نقشه تغییر سطح کاربری‌های موجود و همچنین نقشه خاک و پوشش گیاهی در حوزه آبخیز مارون در طی چهار دوره ده ساله از سال ۱۹۷۰ تا سال ۲۰۱۰ با استفاده از سنجنده‌های TM و ETM ماهواره‌ی لندست مشخص شد. آمار مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری ایدنک بعنوان ایستگاه مبنا در طی سالهای ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ طی چهار دوره ده ساله مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه اثر گزینه‌های مدیریتی کاربری اراضی بر مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی و همچنین مقادیر مختلف رواناب نشان می‌دهد در منطقه سناریوی بدبینانه اتفاق افتاده با ادامه روند تخریبی در کاربری اراضی به سمت حالت قهقرایی، مقادیر مختلف رواناب افزایش و نفوذپذیری و آب‌گذری به آبخوان‌های سطحی و عمیق، کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی؛ مدل SWAT؛ SUFI2؛ حوزه‌ی مارون

مقدمه

ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی می‌باشد که این امر هر گونه برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی را مشکل و حتی با شکست روبرو می‌سازد. برای مقابله با این مساله، دست اندرکاران و محققان آب و آبیاری راه‌حل‌های مختلف نظیر فرمول‌های تجربی و مدل‌های ریاضی و کامپیوتری عرضه کرده‌اند که تاکنون هیچکدام نتوانسته راه‌حل

مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز کشور یکی از مهمترین روش‌های استفاده از منابع آب و خاک می‌باشد. برای این کار نیاز به اطلاعات جامع از روش‌های متفاوت مدیریتی و اجرایی است. در کشور ما بیشتر حوزه‌های آبخیز، به ویژه حوزه‌های آبخیز کوهستانی، فاقد

از اطلاعات هواشناسی، مشخصات خاک، توپوگرافی، دبی مشاهده‌ای خروجی از حوزه، تغییرات کاربری اراضی و انواع پوشش گیاهی عوامل مؤثر بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب در مقیاس حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرد

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز رودخانه مارون از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز خلیج فارس و در دامنه‌های جنوبی و جنوبغربی زاگرس میانی بین طول شرقی $50^{\circ} - 51^{\circ}$ و عرض شمالی $39^{\circ} - 30^{\circ}$ الی $21^{\circ} - 31^{\circ}$ قرار دارد. رودخانه مارون با طول ۴۲۲ کیلومتر یکی از رودخانه‌های مهم استان خوزستان است که از کوه‌های زاگرس سر چشمه می‌گیرد و پس از طی ۱۲۰ کیلومتر به دریاچه سد مارون در ۱۹ کیلومتری شمال شرق بهبهان می‌رسد. مساحت این محدوده ۳۸۰۱ کیلومتر مربع و حداکثر ارتفاع محدوده $3403/4$ متر و حداقل آن ۳۹۷ متر می‌باشد. اقلیم منطقه متأثر از عرض کم جغرافیایی، تغییرات ارتفاعی و مجاورت با خلیج فارس در بخش‌های جنوبی آن است. نوع نزولات در ارتفاعات پایین بیشتر به صورت باران و در ارتفاعات بالاتر به صورت برف بوده و میانگین بارندگی سالانه در این حوزه ۱۵۰ میلی‌متر در دشت، و تا ۹۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات شمالی تغییر می‌نماید (شرکت مدیریت منابع آب ایران ۱۳۸۸). شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

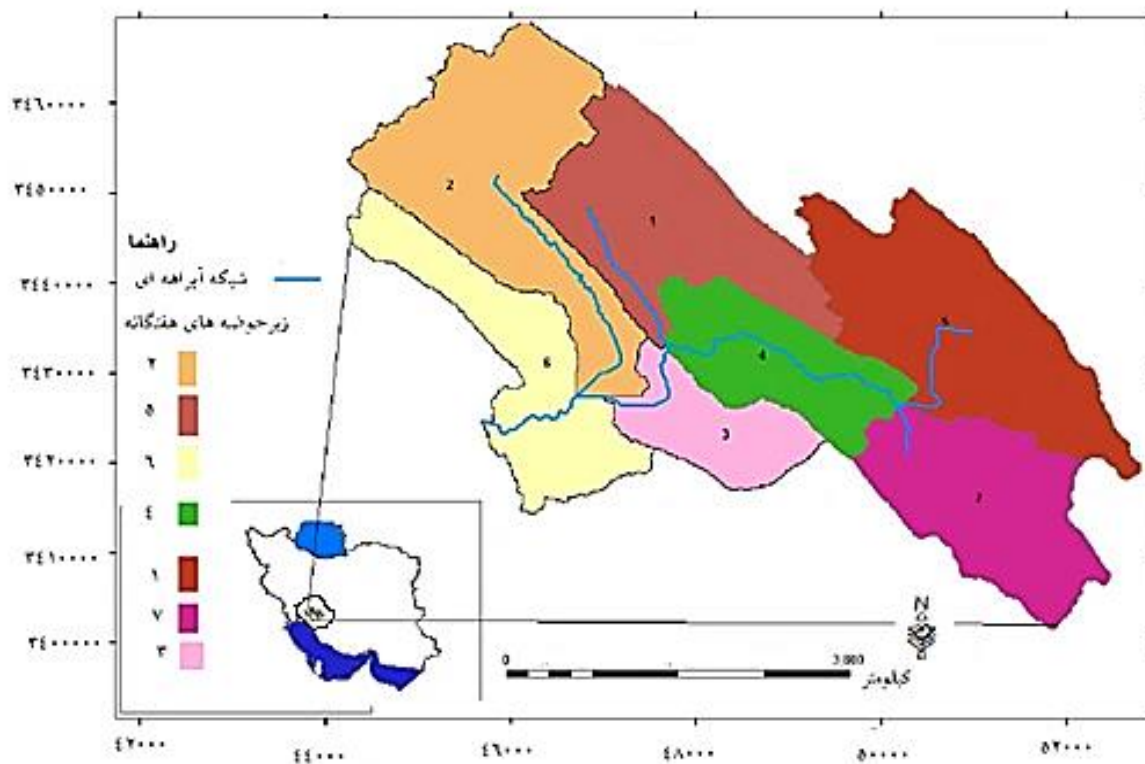
مدل SWAT از نظر زمانی یک مدل پیوسته و نیمه توزیعی- فیزیکی است که برای شبیه سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز پیچیده و وسیع با توجه به تغییرات خاک، کاربری اراضی و شرایط آب و هوایی در دوره‌های طولانی مدت کاربرد دارد.

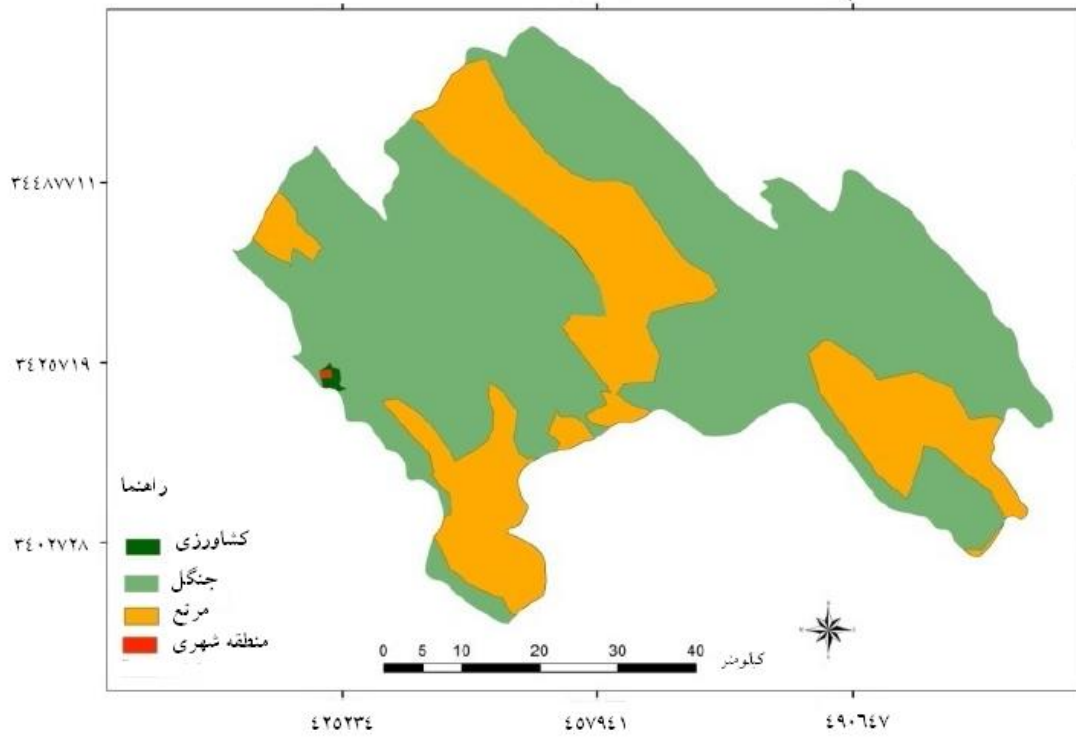
در شبیه سازی با مدل SWAT نیز نقشه کاربری اراضی یکی از موارد ضروری برای شبیه‌سازی و اجرا کردن مدل می‌باشد. کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که مقادیر رواناب، تبخیر و تعرق و

مطلوبی ارائه دهند اما معتقدند که شبیه سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز می‌تواند راه حل بهینه‌ای برای آنها باشد (Rostamian et al., 2010). به طور کلی درک و پیش بینی فرایندهای تولید و انتقال جریان به خروجی حوزه یکی از اساسی‌ترین مباحث در علم هیدرولوژی محسوب می‌شود (سلمانی، ۱۳۹۰). در سال‌های اخیر نیاز به منابع آبی به سرعت در حال رشد است. افزایش تقاضای منابع آبی نیاز به مدیریت یکپارچه و پایدار آب حوزه و درک درست از بیلان آبی دارد (انوار، ۲۰۱۰). این مدل‌ها کاربردهای فراوانی به خصوص در علوم طبیعی و نظام مهندسی دارند (میرآب زاده و قبادی نیا، ۱۳۸۴). مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه سازی حوزه‌های آبخیز به وجود آمده‌اند و در سطح حوزه‌های آبخیز دنیا به کار گرفته شده‌اند، و با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی تغییرات مؤلفه‌های زیادی از چرخه پیچیده آب بررسی شده است (امین و غفوری روز بهانی، ۱۳۸۱). از آن جایی که نتایج حاصل از بعضی از مدل‌ها با مقادیر واقعی تطبیق داشته از این رو استفاده از مدل‌ها در مطالعات حوزه آبخیز افزایش یافته است. شبیه سازی اثر تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز قزاقلی استان گلستان را بر میزان رواناب را با استفاده از مدل SWAT نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر در بررسی اجزا هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد (سلمانی، ۱۳۹۰). تغییر کاربری اراضی در یک حوزه می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر چرخه هیدرولوژیکی و در نتیجه منابع آب حوزه داشته باشد. از این رو شناخت آثار تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوزه راهگشای تعیین استراتژی مناسب در توسعه پایدار منابع آب حوزه‌های آبخیز می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و با هدف کمک به مدیریت منابع آب منطقه، در این پژوهش مدل هیدرولوژیکی حوزه آبخیز مارون به کمک مدل نیمه توزیعی SWAT تهیه خواهد شد. بر این اساس با استفاده

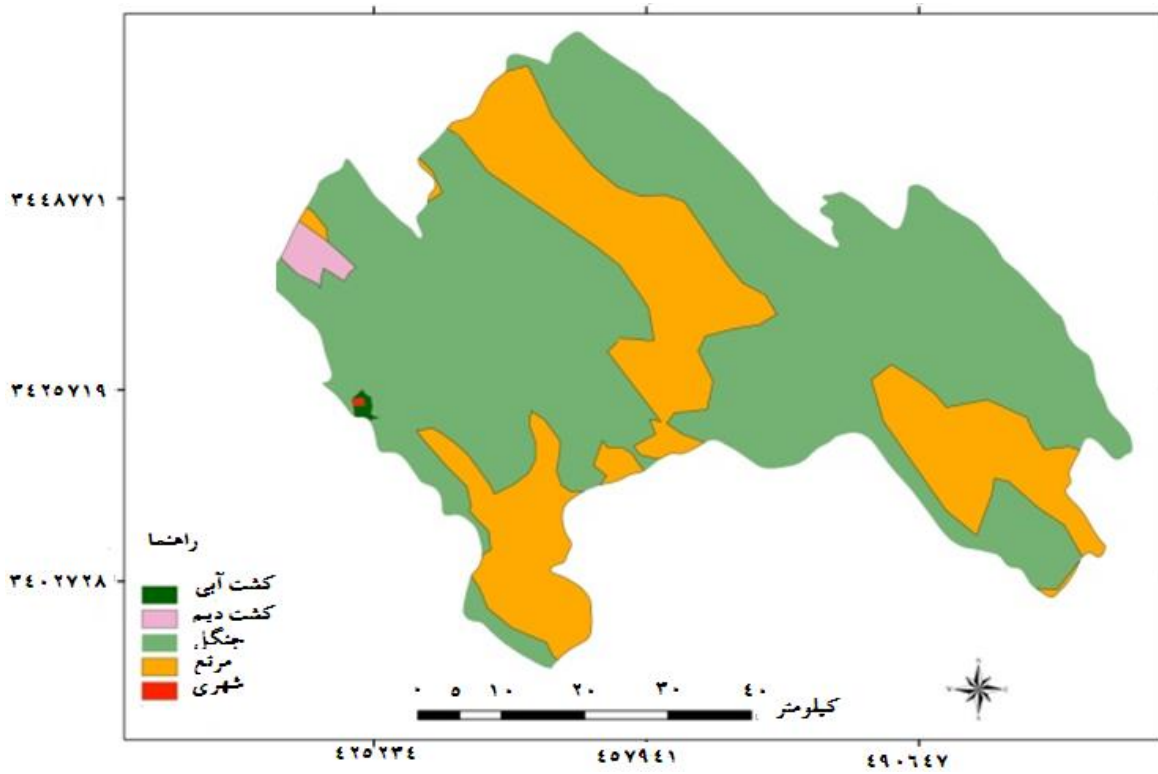
شیب و ارتفاع منطقه به منظور شناخت وضعیت منطقه، با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ در محیط نرم افزار GIS تولید گردید. متعاقباً عملیات تصحیح و پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از ۳۰ نقطه کنترل زمینی در محیط نرم‌افزار Geomatica انجام شد. سپس با استفاده از طبقه بندی نظارت شده نقشه طبقه‌بندی شده کاربری اراضی حوزه با ترکیب باندهای ۳، ۴، ۵ تولید شد، و پس از اعمال عملیات filter نقشه نهایی حاصل شد. نقشه کاربری حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه پس از طبقه‌بندی دوباره توسط مدل SWAT در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده است

فرسایش سطحی حوزه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اطلاعات پوشش اراضی، برای بسیاری از فعالیت‌های برنامه ریزی و مدیریت سرزمینی از جمله آمایش سرزمین دارای اهمیت است. امروزه تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، کاربرد گسترده‌ای در تمامی بخش‌ها از جمله کشاورزی، منابع طبیعی و تهیه نقشه کاربری اراضی به‌عنوان نقشه‌های پایه در آمایش سرزمین دارند. در تحقیق حاضر نیز با هدف استخراج کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز مارون، ابتدا تصاویر سالهای ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ در اواخر فصل بهار همان سال از ماهواره‌ی لندست ۷ تهیه شد. پس از رقومی و موزائیک کردن نقشه توپوگرافی، نقشه‌های شیب، جهت

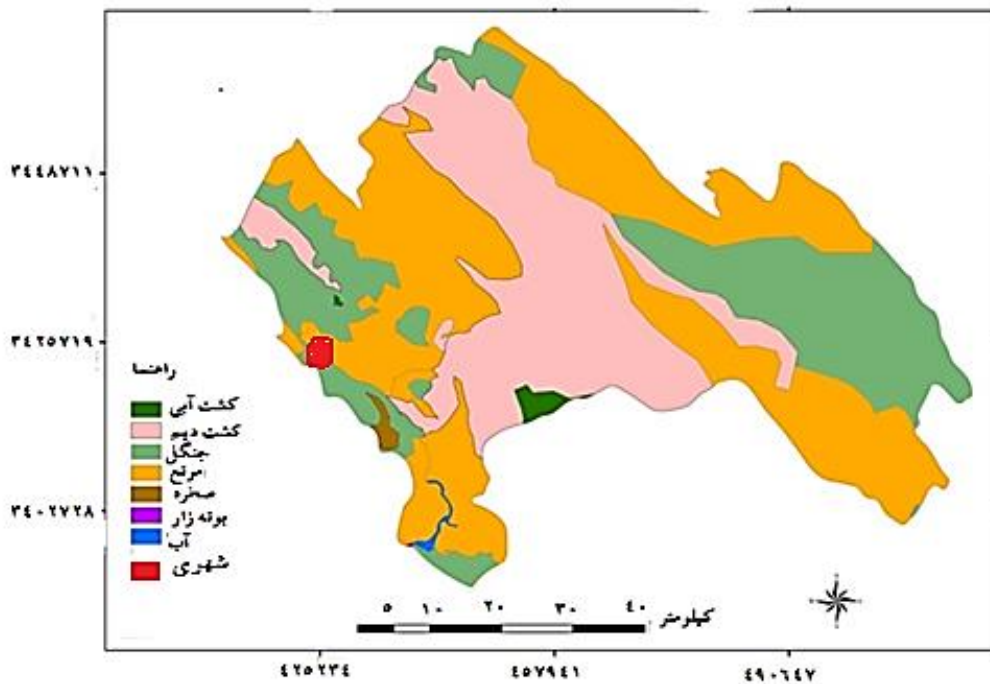




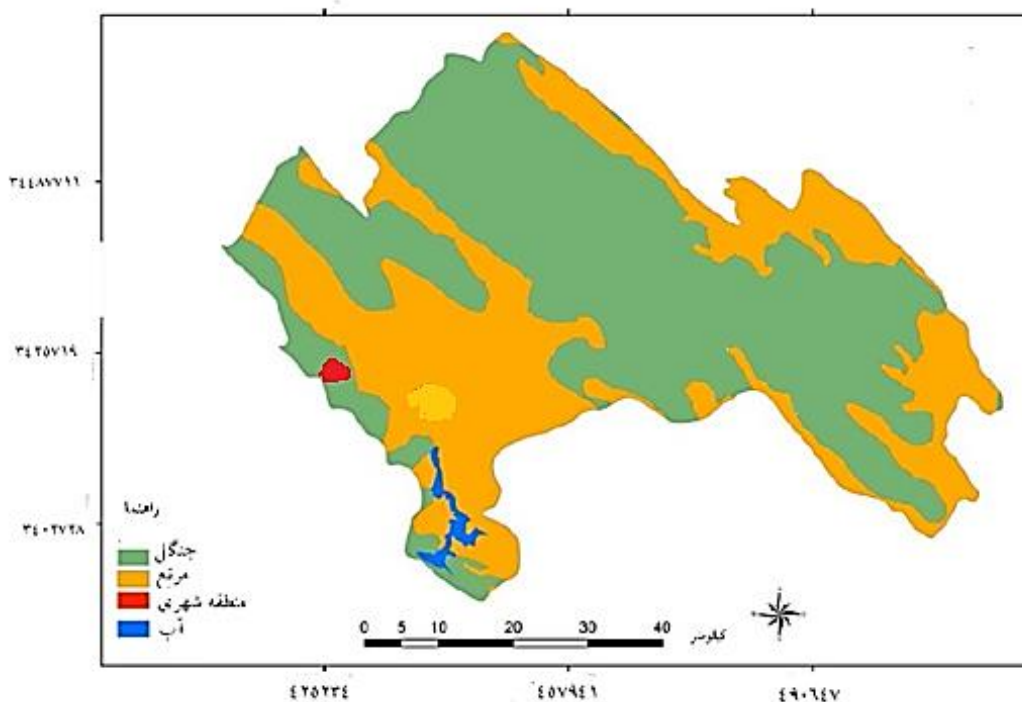
شکل ۲- نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۰



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۰



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰



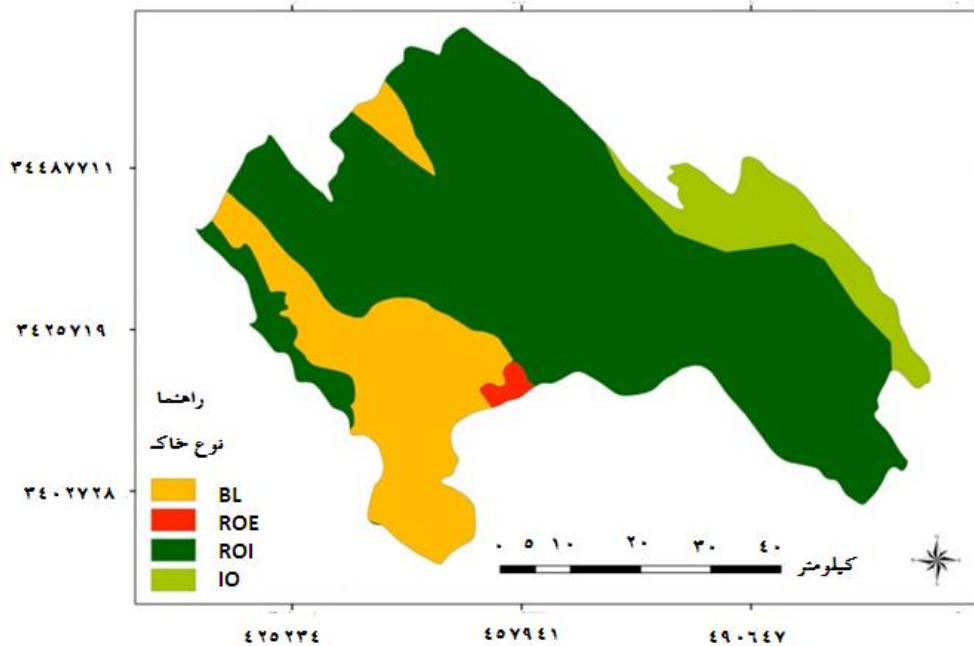
شکل ۵- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰

بافت خاک، درصد رطوبت در دسترس خاک، هدایت هیدرولیکی، چگالی حجمی، مقدار کربن آلی و... برای لایه‌های مختلف خاک نیازمند است. نقشه خاک حوزه

اطلاعات خاک‌شناسی از اساسی‌ترین اطلاعات مورد نیاز مدل می‌باشد. مدل SWAT برای شبیه‌سازی حوزه به خصوصیات مختلف فیزیکی- شیمیایی خاک از قبیل

هیدرولوژیکی برای آنالیز حساسیت، واسنجی، اعتبارسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژیکی مورد احتیاج می‌باشند. داده‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در این پژوهش شامل مقادیر دبی روزانه و ماهانه ایستگاه ایدنک واقع در خروجی حوزه می‌باشد. این داده‌ها از آب منطقه‌ای استان خوزستان تهیه شد. در واقع ایستگاه هیدرومتری ایدنک به‌عنوان ایستگاه مبنا برای مشاهده تغییرات رواناب حوزه می‌باشد.

آبخیز مارون به تبع نقشه کاربری اراضی و نقشه پوشش گیاهی در چهار دهه از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد و در شکل ۶ و تیپ و خصوصیات واحد ارضی موجود در نقشه ۶ به تفصیل در جدول ۱ نشان داده شده است. مدل SWAT برای شبیه‌سازی حوزه به متغیرهای اقلیمی بارندگی، حداقل و حداکثر دما، تشعشع خورشید، رطوبت نسبی و سرعت باد در پایه زمانی روزانه نیازمند است. داده‌های



شکل ۶- نقشه خاک منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- رده و تیپ واحد ارضی- نوع خاک در نقشه ۶ مربوط به منطقه مورد مطالعه

علامت اختصاری	تیپ خاک	خصوصیات خاک - واحد ارضی
BL	Bad Land	اراضی خشک و خاک غنی از رس و نرخ فرسایش بالا
ROI	Rocky Outcrops Inceptisols	درصد آهک فعال در بافت خاک ۱/۵ تا ۴ درصد و بافت خاک متوسط سیلتی کلی لوم تا کمی سنگین سیلتی کلی لوم، pH خاک ۵/۷ تا ۶/۶
ROE	Rock Outcrops Entisols	حاوی کوارتز و املاح محلول آهک و گچ و مواد آبرفتی، pH خاک ۶/۴ تا ۷/۲، درصد آهک فعال در خاک ۱/۵ تا ۳، درصد کربن آلی ۰/۳ تا ۱/۱، ساختمان خاک دانه ای ریز تا درشت تا مکعبی، بافت خاک متوسط سیلتی لوم تا کمی سنگین
IO	Inceptisols Omes	درصد آهک فعال در بافت خاک ۱/۵ تا ۰ درصد، بافت خاک سیلتی کلی لوم نسبتاً سنگین تا سیلتی کلی سنگین، pH خاک ۵/۸ تا ۶/۸، افزایش چشمگیر درصد رس در بافت خاک در عمق ۴۵ تا ۹۰ سانتیمتری

اجرای مدل SWAT 2012

در این مطالعه از مدل نیمه توزیعی SWAT2012 که یک الحاقیه در محیط GIS است برای آنالیز و شبیه‌سازی استفاده گردید. اصولاً در مدل SWAT پایگاه داده‌ها برای شرایط ایالت متحده آمریکا طراحی شده است. بنابراین برای استفاده این مدل در مناطق دیگر بایستی تغییراتی در این اطلاعات از جمله داده‌های مربوط به خاک (usersoil.dbf) کاربری اراضی (landuse.dbf)، ایستگاه‌های مولد اقلیمی (userwgn.dbf) و همچنین اطلاعات مدیریتی داده شود. کلاس‌های مختلف شیب بر حسب ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه و هدف مربوطه از نقشه DEM حوزه بدست می‌آید. با توجه به طیف وسیع زیر حوزه‌ها در منطقه مورد مطالعه استفاده از چندین طبقه شیب نسبت به یک شیب یکسان برای تمامی زیر حوزه‌ها اولویت دارد. مقدار کلاس‌های شیب در هر منطقه بسته به خصوصیات توپوگرافی آن منطقه متفاوت می‌باشد. در مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه طبقه بندی واحدی برای کلاس‌های شیب وجود ندارد. بنابراین کاربر کلاس‌های شیب را براساس توپوگرافی منطقه انتخاب می‌کند. به طور کلی در حوزه آبخیز مورد مطالعه ۴ کلاس شیب (۰-۲، ۲-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۲۰-۱۰۰ درصد) به مدل معرفی گردید. حوزه آبخیز مارون از نظر شرایط هیدرولوژیکی حوزه‌ای بسیار پیچیده می‌باشد. همچنین آنالیز حساسیت با استفاده از شاخص‌های t-stat و p-value برنامه‌ی SUF12 در بسته نرم‌افزاری SWAT CUP انجام گرفت. لازم به ذکر است که در این مطالعه دامنه تغییرات پارامترها براساس مقادیر پیش فرض مدل برای حوزه آبخیز مارون تنظیم گردید. در این پژوهش از روش‌های واسنجی خودکار برای شناسایی مقادیر بهینه پارامترهای مدل استفاده گردید. فرایند واسنجی در دو پایه زمانی ماهانه و روزانه و بر روی دبی حوزه آبخیز مارون صورت گرفت. در ابتدا مدل برای یک دوره مطلوب شبیه سازی شد (دوره warming-up) سپس

براساس مقادیر اولیه بدست آمده مدل برای یک دوره معین به اجرا درآمد. در کل ۲۷ پارامتر براساس مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه انتخاب گردید که بعد از تحلیل حساسیت و شناسایی مؤثرترین پارامترها تعداد این پارامترها به ۱۳ پارامتر تقلیل پیدا نمود. کاهش تعداد پارامترها طی تحلیل حساسیت باعث کاهش زمان اجرای مدل و افزایش دقت به واسطه کاهش عدم قطعیت می‌گردد. بدین گونه بعد از شناخت حساس‌ترین پارامترها (CN2، ESCO، SOL، SMFMX، SMFMN، CH-K2، SLSUBBSN، K و ALPHA-BF) (جدول ۲)، مدل با استفاده از پارامترهای حساس مؤثر بر دبی رودخانه به اجرا درآمد. زمانی که واسنجی پایان گرفت برای بررسی دقت مدل کالیبره شده به منظور استفاده در تخمین‌ها و فعالیت مدیریتی بعدی، مدل با استفاده از داده‌های مشاهداتی مستقل (سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۷۱ در دهه اول و ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱ برای دهه دوم و ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ برای دهه سوم و ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ برای دهه چهارم) بدون تغییر پارامترهای حاصل از واسنجی اجرا گردید.

تحلیل حساسیت

بعد از اجرای اولیه مدل تحلیل حساسیت پارامترهای مدل در خروجی حوزه مورد مطالعه صورت گرفت. در انجام تحلیل حساسیت، تاثیر پارامترهای مختلف بر خروجی مدل بر اساس تابع هدف شناخته می‌شود که در این تحقیق ضریب ناش- ساتکلیف به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. بنابراین برای تحلیل حساسیت و تعیین اهمیت نسبی هر پارامتر از مدل SWAT و روش LH-OAT و همچنین بسته نرم‌افزاری SWAT CUP و برنامه‌ی SUF12 در طی دوره واسنجی استفاده گردید. برای انجام آنالیز حساسیت روش "یک پارامتر در هر بار" (One Factor At a Time (OAT)) مورد استفاده قرار گرفت که متعارف‌ترین روش برای این کار می‌باشد و محققین مختلفی از جمله White و همکاران (۲۰۰۵)، Jah و همکاران (۲۰۰۷)، Feyereisen و همکاران (۲۰۰۷) از

شد و در نهایت مقادیر بهینه پارامترها جهت شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوزه آبخیز مورد مطالعه تعیین شد. واسنجی روزانه مدل SWAT به داده‌های روزانه فوق العاده زیادی نیاز دارد که در دسترس نبودند و واسنجی سالانه از میزان دقت کمتری برخوردار می‌باشد لذا واسنجی ماهانه نتایج را بهتر نشان می‌دهد. در شکل‌های ۷ تا ۱۴ نتایج واسنجی بر پایه زمانی ماهانه با استفاده از برنامه‌ی SUFI2 و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده نشان داده شده است.

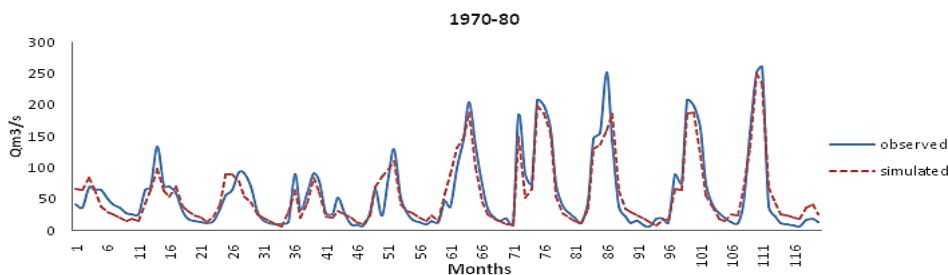
این روش استفاده کرده‌اند. نتایج تحلیل حساسیت انجام گرفته با استفاده از روش LH-OAT بر روی ۲۷ پارامتر اولیه نشان داد که حساس‌ترین پارامترهای موثر بر دبی حوزه آبخیز مارون بر پایه زمانی ماهانه با استفاده از نرم‌افزار SWAT CUP پارامترهای CN2 و CH-K2 و ALPHA-BF جز حساس‌ترین پارامترهای موثر بر دبی حوزه آبخیز مارون می‌باشند.

واسنجی مدل

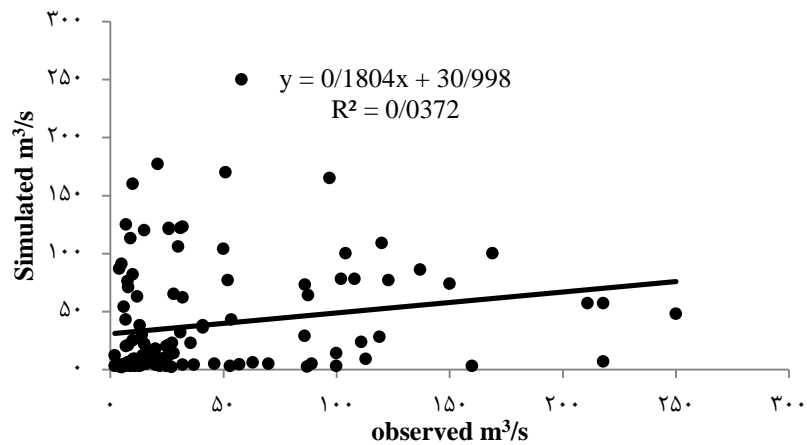
در این مرحله به واقعی کردن پارامترهای مختلف پرداخته

جدول ۲- متوسط مقادیر بهینه شده پارامترها در مرحله واسنجی رواناب ماهانه (سلمانی ۱۳۹۰)

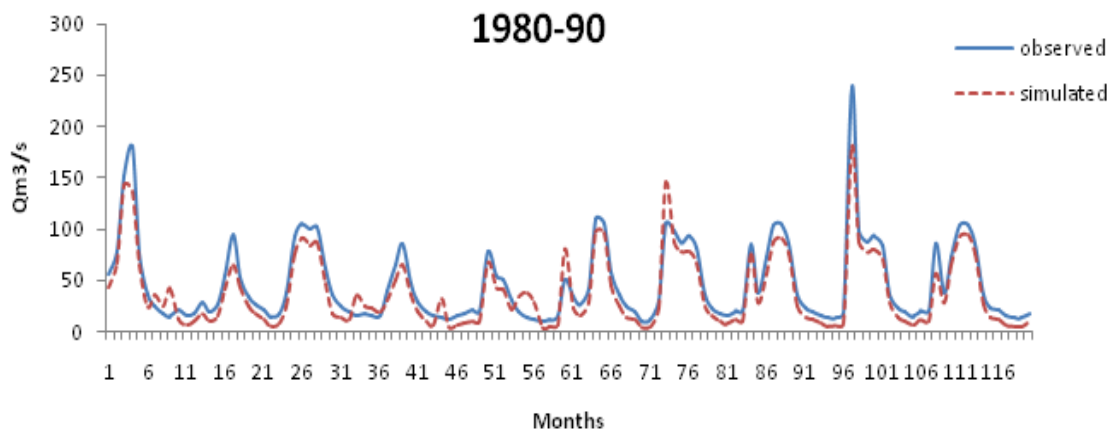
مقدار پارامتر	شرح پارامتر	نام پارامتر
۶۰-۷۰	شماره منحنی SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط (II)	CN2
۱۵-۳۰	هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک (mm/hr)	SOL_K
۰,۰۱-۰,۱	ثابت تخلیه آب زیرزمینی days	ALPHA_BF
۱۰ تا ۱۵۰	متوسط طول شیب زمین در هر HRU (متر)	SLSUBBSN
۰ تا ۱	حداقل نرخ ذوب برف در طول سال (mmH ₂ O/ ⁰ C-day)	SMFMN
۰,۱-۰,۲۵	حداکثر نرخ ذوب برف در طول سال (mmH ₂ O/ ⁰ C-day)	SMFMX
۰,۱-۰,۲	فاکتور جبران کننده تبخیراز خاک	ESCO
۰,۲-۰,۴	درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم عمقی یا غیر محصور	RCHRG_DP
۲-۳	بارش برف یا متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (°C)	SFTMP
۸۰-۹۵	حداکثر آب نگه داشته شده توسط پوشش گیاهی یا برگاب (mmH ₂ O)	CANMX
۰ - ۰,۵	دمای پایه ذوب توده برف (°C)	SMTMP
۰ تا ۱۵۰	هدایت هیدرولیکی موثر بستر رودخانه اصلی (mm/hr)	CH-K2



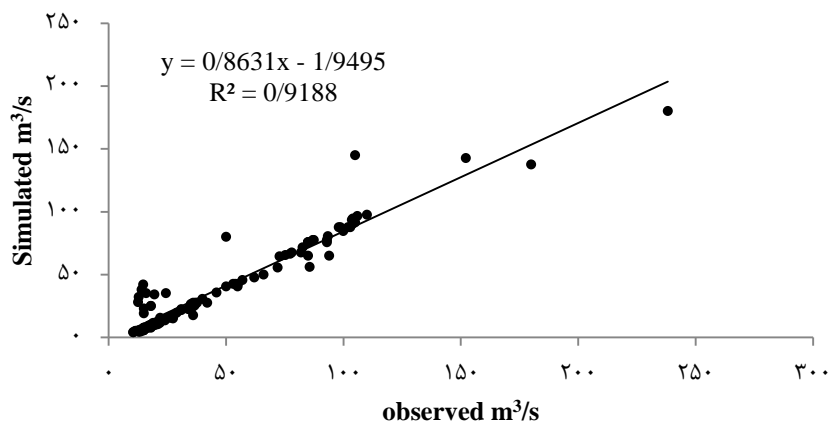
شکل ۷- مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز مارون با استفاده از برنامه sufi2 در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه- دهه اول بازه زمانی



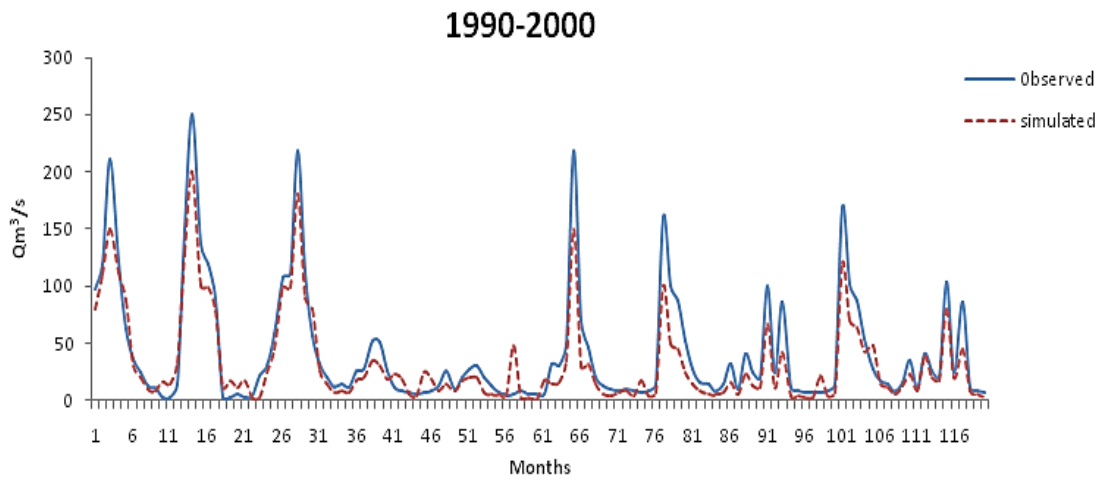
شکل ۸- همبستگی بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده با استفاده از برنامه **sufi2** در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه- دهه اول بازه زمانی



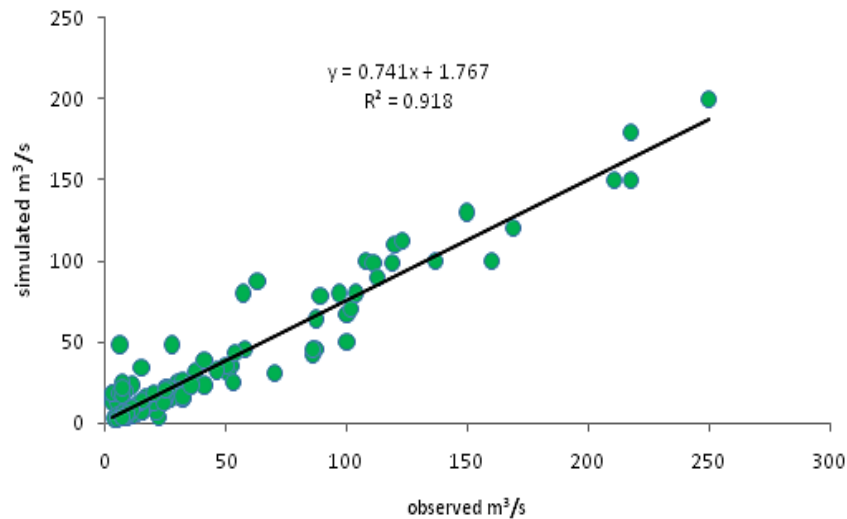
شکل ۹- مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده حوزه آبخیز مارون با استفاده از برنامه **sufi2** در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه- دهه دوم بازه زمانی



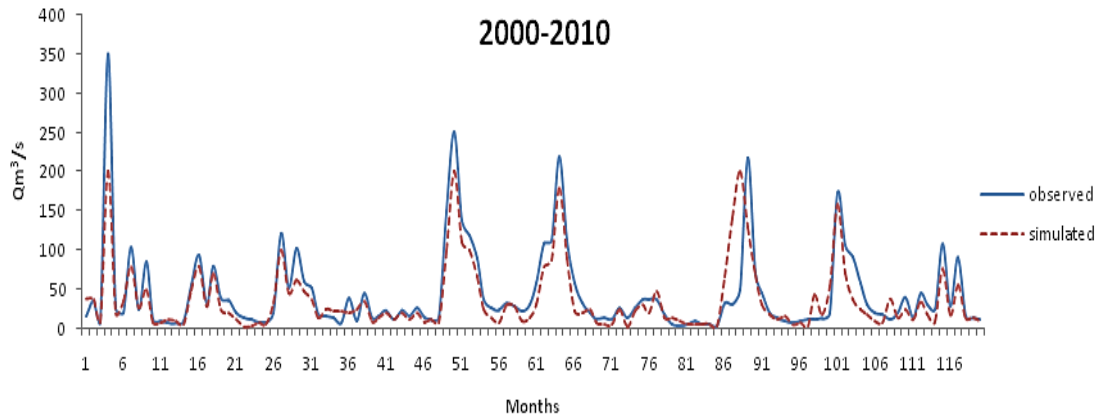
شکل ۱۰- همبستگی بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده با استفاده از برنامه **sufi2** در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه- دهه دوم بازه زمانی



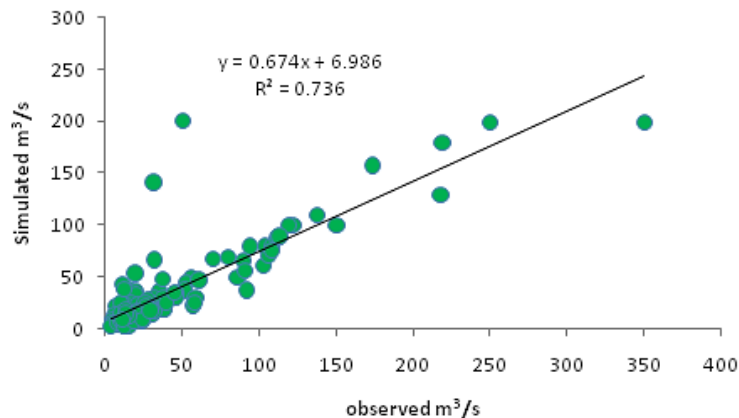
شکل ۱۱- مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده حوزه آبخیز مارون با استفاده از برنامه **sufi2** در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه- دهه سوم بازه زمانی



شکل ۱۲- همبستگی بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده با استفاده از برنامه **sufi2** در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه- دهه سوم بازه زمانی



شکل ۱۳- مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده حوزه آبخیز مارون با استفاده از برنامه **sufi2** در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه- دهه چهارم بازه زمانی



شکل ۱۴- همبستگی بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده با استفاده از برنامه **sufi2** در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه- دهه چهارم بازه

استفاده از چندین روش بهینه‌سازی پارامترها و تحلیل عدم قطعیت را به جای یک روش خاص توصیه کرده‌اند (Abbaspour *et al.*, 2004, Abbaspour, 2008, SetegnSG) (Abbaspour *et al.*, 2010). به همین دلیل در این مطالعه از برنامه‌ی SUF12 و در قالب برنامه الحاقی به مدل SWAT در بسته نرم افزاری SWAT CUP استفاده گردید و کارایی مدل با استفاده از ضرایب p -factor, r -factor, R_2 , E_{NS} , bR_2 , MSE و RMSE در خروجی حوزه مورد بررسی قرار گرفت. در جداول چهارگانه ۳ و ۴ و ۵ و ۶ ضرایب آماری ارزیابی دقت مدل در شبیه سازی رواناب ماهانه در دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی چهار دهه تحقیق نشان داده شده است.

در مطالعه حاضر که در حوزه آبخیز مارون صورت گرفته است از داده‌های ایستگاه هیدرومتری ایدنک به عنوان کمک و مکمل برای پارامترهای محاسباتی مورد نیاز مدل SWAT طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی استفاده گردید. به طوری که مطابق مطالعات Sangjun و همکاران (Zhang و همکاران (۲۰۰۸) و سلمان (۱۳۹۰) (۲۰۰۷) دو سوم از داده‌های موجود (آمار دبی مشاهده‌ای) برای واسنجی و یک سوم برای اعتبارسنجی استفاده شد. نتایج آماری و گرافیکی شبیه‌سازی جریان آب در دوره زمانی واسنجی نشان دهنده مورد قبول بودن نتایج مدل در این مرحله می‌باشد. برای اعتبار سنجی مدل از پارامترهای بهینه شده در مرحله واسنجی و از بسته نرم افزاری SWATCUP و برنامه‌های SUF12 استفاده گردید. پژوهشگران مختلف

جدول ۳- ضرایب آماری ارزیابی دقت مدل در شبیه سازی رواناب ماهانه در واسنجی و اعتبار سنجی دهه اول

شاخص آماری	واسنجی	اعتبار سنجی
P_factor	۰٫۷۸	۰٫۸۵
R_factor	۱٫۵۷	۲٫۸۴
R ²	۰٫۹۸	۰٫۷۹
E _{NS}	۰٫۹۲	۰٫۷۵
bR ²	۰٫۷۱۴	۰٫۷۵۲
MSE	۸۵٫۹۹	۸۳٫۶۷۵
RMSE	۸٫۸۷	۹٫۸۴

جدول ۴- ضرایب آماری ارزیابی دقت مدل در شبیه سازی رواناب ماهانه در واسنجی و اعتبار سنجی دهه دوم

شاخص آماری	واسنجی	اعتبار سنجی
P_factor	۰٫۷۲	۰٫۷۵
R_factor	۱٫۵۱	۲٫۹۱
R ²	۰٫۸۵	۰٫۸۶
E _{NS}	۰٫۸۶	۰٫۸۲
bR ²	۰٫۶۵۴	۰٫۸۲۹
MSE	۵۸٫۸۷۸	۸۲٫۰۷۲
RMSE	۷٫۶۷	۹٫۰۵

جدول ۵- ضرایب آماری ارزیابی دقت مدل در شبیه سازی رواناب ماهانه در واسنجی و اعتبار سنجی دهه سوم

شاخص آماری	واسنجی	اعتبار سنجی
P_factor	۰٫۷۷	۰٫۸۸
R_factor	۱٫۵۶	۲٫۸۷
R ²	۰٫۹	۰٫۸۲
E _{NS}	۰٫۹۲	۰٫۷۸
bR ²	۰٫۷۰۴	۰٫۷۸۹
MSE	۸۵٫۵۶۳	۸۵٫۵۸۳
RMSE	۹٫۶۶	۹٫۶۸

جدول ۶- ضرایب آماری ارزیابی دقت مدل در شبیه سازی رواناب ماهانه در واسنجی و اعتبار سنجی دهه چهارم

شاخص آماری	واسنجی	اعتبار سنجی
P_factor	۰٫۷۵	۰٫۷۹
R_factor	۱٫۵۴	۲٫۷۸
R ²	۰٫۸۸	۰٫۸۳
E _{NS}	۰٫۸۹	۰٫۶۴
bR ²	۰٫۶۸۴	۰٫۶۹۹
MSE	۵۸٫۱۲	۸۴٫۵۴۳
RMSE	۸٫۵	۸٫۶۴

نتایج و بحث

سناریوهای مختلف می‌باشد. به طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در برنامه SUF12 و در پایه زمانی ماهانه شماره منحنی رواناب به عنوان حساس‌ترین پارامتر

یکی از کاربردهای ویژه مدل SWAT توانایی بررسی مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی در قالب

پارامتر CN2 (شماره منحنی SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط (II) و شیب ۵ درصد) تابعی از نفوذپذیری خاک، کاربری اراضی و شرایط رطوبت پیشین می‌باشد. مقدار این پارامتر برای انواع مختلف خاک و کاربری اراضی و برای هر زیر حوزه متفاوت است. به طور کلی افزایش مقدار CN2 باعث افزایش حجم رواناب می‌شود که به نوبه خود باعث تلفات بیشتر آب و کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و کاهش آب پایه رودخانه‌ها و تغییر در مقادیر فرسایش و رسوب می‌شود (Li et al., 2007). در جدول ۹ مقایسه تغییرات پارامترهای موثر بر میزان رواناب سطحی در حوزه آبخیز مارون طی باز مطالعاتی نشان داده شده است.

همان طوری که در جدول ۱۰ که مشاهده می‌شود با تغییر کاربری اراضی در هر یک از سناریوها مقادیر اوج رواناب نیز تغییر می‌یابد که این تغییر در گرایش مثبت به صورت کاهش دبی اوج و در گرایش منفی به صورت افزایش مقادیر اوج می‌باشد. که دلیل آن ناشی از تغییر نوع پوشش گیاهی و در نتیجه تغییر در شماره منحنی رواناب می‌باشد. همچنین در شکل ۱۵ مقایسه تغییرات رواناب سطحی - جریان پایه - نسبت حساسیت CN در حوزه آبخیز مارون طی باز مطالعاتی نشان داده شده است.

می‌باشد. از طرفی ارتباط مستقیمی بین این پارامتر و نوع کاربری اراضی وجود دارد. لذا در هر مطالعه‌ای برای بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر کمیت تغییرات هیدرولوژیکی حوزه در آینده چهار سناریو در جهت گرایش مثبت و منفی (افزایش جنگل مثبت و کاهش جنگل و مرتع منفی) در نظر گرفته و نقشه کاربری اراضی متناظر در محیط GIS اصلاح و وارد مدل می‌شود. مدل ابزار مدیریتی است که خروجی مدل بر مبنای گزینه‌های مختلف مدیریتی با توجه به اهداف تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. از آنجا که هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر تغییر کاربری بر رواناب رودخانه مارون در طی چهار دهه گذشته که بطور واقعی در حوزه‌ی آبخیز مارون اتفاق افتاده می‌باشد، لذا بر اساس آنالیز پارامترهایی که مدل بیشترین حساسیت را نسبت به آنها نشان داده، رواناب شبیه‌سازی شده در ایستگاه خروجی حوزه (ایستگاه ایدنک) در پایان هر دهه محاسبه و روند تغییرات آن را مقایسه می‌کنیم. در جدول ۷ تغییرات مساحت تغییرات کاربری در منطقه مطالعاتی مارون طی چهار دهه اخیر به هکتار ارائه شده است. همچنین جدول ۸ نشان دهنده مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط رواناب ماهانه حوزه در گزینه‌های مدیریتی مختلف کاربری اراضی است.

جدول ۷- تغییرات مساحت تغییرات کاربری در منطقه مطالعاتی مارون طی چهار دهه اخیر به هکتار

نوع کاربری	کاربری ۱۹۸۰	کاربری ۱۹۹۰	کاربری ۲۰۰۰	کاربری ۲۰۱۰
کشاورزی	۵۳۵	۶۱۲	۹۱۶	۱۳۴۴
جنگل	۲۷۲۲۵۸	۲۶۴۴۵۸	۲۵۶۱۸۶	۲۲۴۴۵۸
مرتع	۱۰۸۳۷۵	۱۱۶۰۹۷	۱۲۳۴۱۵	۱۵۴۰۶۳
منطقه شهری	۱۲۶	۱۲۷	۷۵۲	۱۴۰۹
آب	۰	۰	۲۵	۲۰

جدول ۸- مقایسه مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط رواناب ماهانه حوزه و مقدار پارامتر CN2 در سناریوهای مختلف کاربری اراضی طی چهار دهه بازه زمانی مطالعاتی

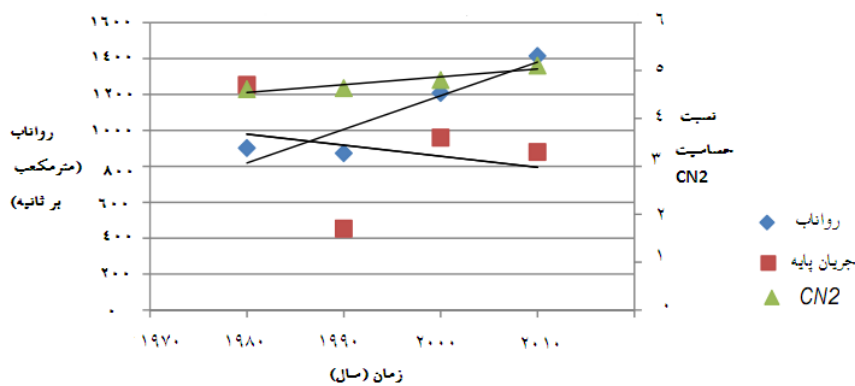
شاخص	رواناب سطحی شبیه سازی شده در هر گزینه مدیریتی (مترمکعب بر ثانیه)			
	دهه اول ۱۹۸۰	دهه دوم ۱۹۹۰	دهه سوم ۲۰۰۰	دهه چهارم ۲۰۱۰
حداکثر ماهانه m3/s	۹۰۲	۸۷۵	۱۲۰۸	۱۴۱۴
حداقل ماهانه m3/s	۴,۷	۱,۷	۳,۴۳	۳,۶۳
متوسط ماهانه m3/s	۵۱,۱۶	۴۳,۳۳	۴۸,۳۸	۵۴,۵۸
CN2	۴,۶۱	۴,۶۳	۴,۶۸	۵,۱

جدول ۹- مقایسه تغییرات پارامترهای موثر بر میزان رواناب سطحی در حوزه آبخیز مارون طی باز مطالعاتی

پارامتر	نسبت حساسیت			
	۲۰۱۰	نسبت حساسیت ۲۰۰۰	۱۹۹۰	نسبت حساسیت ۱۹۸۰
CN2	۵,۱	۴,۶۸	۴,۶۳	۴,۶۱
CH-K2	۲,۲۵	۲,۲۵	۲,۲۵	۲,۲۵
SMFMN	۰,۵۸	۰,۵۸	۰,۵۸	۰,۵۸
SOL_K	۰,۳۳	۰,۳۲	۰,۳۴	۰,۳۲
ALPHA_BF	۰,۳	۰,۳	۰,۳۳	۰,۳
SLSUBBSN	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲
SMFMX	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰,۱
ESCO	۰,۰۸	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۷

جدول ۱۰- تغییرات رواناب سطحی و جریان پایه در مقایسه با تغییرات نسبت حساسیت CN2

	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه چهارم
رواناب سطحی	۹۰۲	۸۷۳	۱۲۰۸	۱۴۱۴
جریان پایه	۴,۷	۱,۷	۳,۶	۳,۳
CN2	۴,۶۱	۴,۶۳	۴,۶۸	۵,۱



شکل ۱۰- مقایسه تغییرات رواناب سطحی- جریان پایه- نسبت حساسیت CN در حوزه آبخیز مارون طی باز مطالعاتی

پارامترهای مختلف مربوط به آب‌زیرزمینی از تأثیرگذارترین پارامترها بر رواناب سطحی در حوزه مورد مطالعه است. این پارامترها نشان می‌دهند که اصولاً جریان رودخانه‌ای به وسیله جریان آب زیرزمینی کنترل می‌گردد. ALPHA_BF (ثابت تخلیه آب‌زیرزمینی) تولید کننده جریان پایه است. ALPHA-BMK (فاکتور آلفا جریان پایه برای ذخیره کناری) نشان دهنده ذخیره کناری است که بر روی جریان آبراهه اصلی یا بازه‌های درون زیر حوزه‌ها تأثیرگذار می‌باشد. پارامترهای نرخ ذوب برف SMFMX و SMFMN در مناطق گرمسیر و سردسیر، حساس و تأثیرگذار خواهند بود. اگر نرخ ذوب برف کم باشد، ماندگاری برف در سطح زمین بیشتر می‌شود و در نتیجه، تبخیر آب کمتر و مقدار نفوذ آب به لایه‌های عمیق‌تر خاک و سفره زیرزمینی افزایش می‌یابد و در مقابل سهم رواناب سطحی کمتر می‌شود. و اگر نرخ ذوب برف زیاد باشد فرصت نفوذ به لایه‌های پایین‌تر را نداشته و باعث افزایش جریان سطحی می‌شود.

نتیجه‌گیری

در حوزه آبریز مارون کاربری اراضی در مقدار رواناب خروجی از حوزه نقش بسزایی دارد و حساسیت بالای پارامتر CN اثبات کننده نقش تأثیرگذار تغییرات کاربری اراضی این حوزه است. از آنجا که غالب منطقه به صورت کوهستانی است، افزایش این پارامتر (CN) باعث افزایش مقدار رواناب از طریق کاهش مقدار نفوذپذیری می‌شود در این صورت مقدار بالاتری از آب از طریق رواناب از حوزه خارج می‌شود. مقایسه اثر گزینه‌های مدیریتی کاربری اراضی بر مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی و همچنین مقادیر مختلف رواناب نشان می‌دهد طی چهار دهه اخیر سناریوی بدبینانه اتفاق افتاده با ادامه روند تخریبی در کاربری اراضی به سمت حالت قهقرایی مقادیر مختلف رواناب افزایش و نفوذپذیری و آب‌گذری به آبخوان‌های سطحی و عمیق، جریان زیر

در این صورت با کاهش نفوذپذیری مقادیر بیشتر بارندگی در روی سطح زمین جاری می‌شود و از دسترس خارج می‌گردد. همچنین با تغییر کاربری اراضی در جهت گرایش مثبت مقدار کمینه جریان متوسط ماهانه نیز افزایش پیدا می‌نماید. همان طوری که در جداول و اشکال مربوطه مشخص می‌باشد پاسخ هیدرولوژیکی حوزه در حالت قهقرایی و تخریب نسبت به حالت احیا کاربری شدیدتر است؛ لذا لزوم حفظ کاربری فعلی حوزه و بهبود و اصلاح کاربری اراضی یکی از راهکارهای اساسی در جهت مدیریت رواناب سطحی می‌باشد. حساسیت بالای CH-K2 (هدایت هیدرولیکی موثر بستر رودخانه اصلی) در منطقه نشان دهنده وجود انشعابات فرعی متناوب یا فصلی در منطقه می‌باشد که بر روی جریان رودخانه اصلی تأثیر گذار می‌باشد. این حوزه دارای خشکه‌رودها و رودخانه‌های فصلی متعدد به ویژه در مناطق نیمه خشک خود می‌باشد که در مواقع بارندگی و آبرگیری تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر دبی خروجی حوزه در ایستگاه هیدرومتری ایدنک دارد. SOL-K (هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک) مقیاسی برای سهولت حرکت آب در لایه‌های خاک است که نشان دهنده تعادل بین جریان آبی و شیب هیدرولیکی می‌باشد. از پارامترهای مهم دیگر پارامترهایی در سطح HRU می‌باشند از جمله این پارامترها SLSUBBSN (متوسط طول شیب زمین در هر HRU) است که ممکن برای هر HRU مقدار یکسانی داشته باشد یا برای هر نوع کاربری و خاک یک SLSUBBSN در نظر گرفته شود و همچنین پارامتر ESCO (فاکتور جبران کننده تبخیر از خاک) پارامتری مهم در چرخه هیدرولوژیکی و تأثیرگذار بر روی رواناب سطحی است. به طور کلی کاهش این پارامتر باعث افزایش رواناب سطحی و جریان پایه می‌شود و بالعکس. زیرا با کاهش ESCO باعث انتقال آب بیشتری از لایه‌های زیرین خاک به لایه‌های فوقانی شده و نتیجتاً مقدار رواناب سطحی و جریان پایه افزایش می‌یابد.

قشری و تبخیر و تعرق واقعی کاهش می‌یابد. در واقع یکی از دلایل افزایش رواناب در گرایش منفی کاربری اراضی کاهش مقادیر مختلف نفوذپذیری، تبخیر و تعرق و آب گذری می‌باشد. در این حالت مقادیر بیشتر بارندگی از طریق رواناب سطحی از حوزه خارج می‌گردد.

منابع مورد استفاده

سلمانی، حسین. ۱۳۹۰. بهینه سازی پارامترهای موثر در بارش - رواناب در مدل نیمه توزیعی SWAT درحوزه قراقلی استان گلستان. کارشناسی ارشد، گروه احیا مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۱۸۵ صفحه
 میراب زاد، م. و قبادی نیام، ۱۳۸۴. ساختار مدل‌های ریاضی و کاربرد آن‌ها در سیستم‌های آب زیرزمینی. کارگاه آموزشی مدل‌سازی در آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۱۳ صفحه. ۲۴ آذر ماه ۱۳۸۴
 امین، س. و غفوری روزبهانی، ع. ۱۳۸۱. شبیه سازی رواناب سطحی و تبخیر و تعرق حوزه آبخیز معرف رود زرد با مدل استانفورد ۴. " مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۶ (۱۲): ۵۴-۶۶.
 گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب ۱۳۸۸ حوزه آبخیز مارون. تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات و بیان آب بخش ۵. شرکت مدیریت منابع آب ایران. شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان. معاونت مطالعات پایه منابع آب. جلد سوم. ص ۱۷۷-۱۸۹.

- Abbaspour KC, Johnson CA, and Van Genuchten TM: Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure. *Vadose Zone Journal*. 2004: 1340-1352.
- Abbaspour KC, Vejdani M, And Haghghat S: SWAT-CUP Calibration and Uncertainty Programs for SWAT. 2008: 1596-1602.
- Anwar NS: Simulated Impact of land use dynamics on Hydrology during a 20-year-Preiod of deles basin in Ethiopia. TRITA-LWR Master Thesis. 2010: 1-33.
- Feyereisen, G.W., T.C. Strickland, D.D. Bosch and D.G. Sullivan. 2007. Evaluation of SWAT manual calibration and input parameter sensitivity in the little river watershed. *American Society of agriculture and bio logialengineering*, 50. 843-855.
- Jha, M.K., P.W. Gassman and J.G. Arnold. 2007. Water quality modeling for the Raccon River watershed, using SWAT. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(2): 479-493.
- Li KY., Coe MT., Ramankutty N. and De Jong R: Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa. *Journal of Hydrology*. 2007: 337: 258- 268.
- Rostamian R., Jaleha A., Afyunia M., Mousavian SF., Heidarpour M., Jalalian A. and Abbaspour KC: Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. *Hydrological Sciences Journal*. 2010: 53(5): 977 - 988.
- Sangjun I., Brannan KM., Saied Mostaghimi S. and Sang MK: Comparison of HSPF and SWAT models performance for runoff and sediment yield prediction. *Journal of Environmental Science and Health*. 2007: 11(42): 1561-1570
- SetegnSG., Srinivasan R., Melesse AM. And Dargahi B: SWAT model application and prediction uncertainty analysis in the Lake Tana Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrological processes*. 2010: 24: 357-367.
- White k. and Chaubey I: Sensitivity analysis, calibration and validation for a multisite and multivariable SWAT model. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. 2005: 41(5): 1077-1089.
- Zhang X., Srinivasan R. and Van Liew M: Multi-site calibration of the SWAT model for Hydrologic modeling. *Soil & Water Division of ASABE, American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 2008: 51(6): 2039-2049.



ISSN 2251-7480

Investigation the effect of land use changes on the quantity of water resources using remote sensing data and SWAT model (Case study: Maroon basin-southwest of Iran)

Khosro Shafiei Motlagh¹, Jahangir Porhemmat², Hossain Sedghi³ and Majid Hosseini⁴

1) PhD student, water science and engineering Department, college of Agriculture and natural resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2) Associate Professor, hydrology and water resources of Soil Conservation and Watershed Management Research institute (SCWMRI), Tehran, Iran

3) Professor water science and engineering Department of Water resource Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4-Assistant Professor, in hydrology and water resources of Soil Conservation and Watershed Management Research institute (SCWMRI), Tehran, Iran

Received: 11-01-2017

Accepted: 23-05-2017

Abstract

The Correct management watersheds is one of the most important methods is the optimal use of soil and water resources. To do this, it's need for comprehensive information of different methods administrative management. Recent decades, correct and timely assessment of quantitative and qualitative runoff is considered one of the concerns of the country's macro management. This project is modeling and evaluation and efficiency of the SWAT model to simulate the monthly runoff, sensitivity analysis, optimization of critical parameters, to evaluate the effect land use during the past four decades on Quantity of Maroon River watershed at the departure station (Idanak) in Kohgiluyeh and Boyerahmad. For this purpose, were used from semi-distributed SWAT model and SUFI2 program in the form of bundles SWAT CUP for sensitivity analysis, calibration, validation and uncertainty analysis. In this research first were prepared changes in land use map available as well as soil and vegetation in the watershed Maroon map within four ten-year period from 1980 to 2010 by using TM and ETM sensor of Landsat satellite. Observations Data of hydrometric Idenak station as base station was used during 1970 to 2010 in four ten-year period to observe changes in runoff during the calibration and validation. Compare the effect of land use management options on the different components of the hydrological cycle shows different amounts of runoff. Shows a the pessimistic scenario occurred in four decades. With continuing damage to the state in land use regression various amounts of runoff increases and decreases permeability and gullies on the surface and deep aquifers.

Key words: land use ,SWAT model, SUFI 2 ,maroon basin